



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 198 07 884 A 1

51 Int. Cl. 6:  
A 61 B 5/103  
A 61 B 6/03

21 Aktenzeichen: 198 07 884.6  
22 Anmeldetag: 25. 2. 98  
43 Offenlegungstag: 9. 9. 99

DE 198 07 884 A 1

71 Anmelder:  
Schweikard, Achim, Prof. Dr., 20357 Hamburg, DE  
74 Vertreter:  
Haft, von Puttkamer, Berngruber, Czybulka, 81669 München

72 Erfinder:  
Schweikard, Achim, Prof., 20357 Hamburg, DE;  
Brack, Christian, 86459 Gessertshausen, DE; Roth,  
Michael, 86153 Augsburg, DE

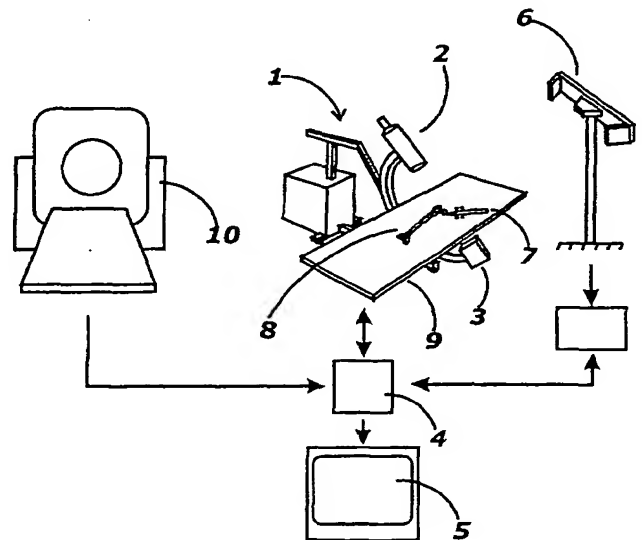
56 Entgegenhaltungen:  
US 56 62 111  
US 53 83 454  
CINGUIN, P. (u.a.): Computer Assisted Medical Interventions, In: Z.: IEEE Engineering in Medicine and Biology, Vol. 14, Number 3 Mai/Juni 1995, S. 254-263;  
VÖLTER, S. (u.a.): Virtual Reality in der Orthopädie: Prinzipien, Möglichkeiten und Perspektiven in Z.: Z. Orthop. 133 (1995), S. 492-500;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren und Vorrichtung zur intraoperativen rechnergestützten Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte

57 Gemäß dem Verfahren zur intraoperativen rechnergestützten Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte mit Hilfe einer Aufnahmevorrichtung und insbesondere zur intraoperativen dreidimensionalen Visualisierung für medizinische Eingriffe werden mittels der Aufnahmevorrichtung (1) eine oder mehrere Aufnahmen aus unterschiedlicher Position und/oder Orientierung gemacht, wobei die relativen Positionen und Orientierungen der Aufnahmen zueinander berechnet werden, gemessen werden oder konstruktionsbedingt bestimmt werden und wobei diese Aufnahmen mit präoperativ und/oder intraoperativ gewonnenen Aufnahmen verglichen werden, um die relative Position eines Zielobjektes (8) zu mindestens einem chirurgischen Instrument (7) zu ermitteln und zu visualisieren. Die Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens enthält eine bildgebende Aufnahmevorrichtung (1), eine Recheneinheit (4) und einen Bildschirm (5), wobei die Aufnahmevorrichtung (1) mindestens zwei in festem Abstand voneinander angeordnete Aufnahmeeinrichtungen enthält, so daß die relative Position und Orientierung der Aufnahmeeinrichtungen bekannt ist oder wobei die Aufnahmevorrichtung eine Aufnahmeeinrichtung enthält, deren Position und Orientierung mittels einer Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmevorrichtung (1) ermittelt wird.



DE 198 07 884 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur intraoperativen rechnergestützten Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte.

Während chirurgischer Operationen wird üblicherweise, um das zu behandelnde Zielobjekt mit den chirurgischen Instrumenten zu erreichen, lediglich ein kleiner Schnitt durch die Haut des Patienten vorgenommen, wodurch es für den Chirurgen oft schwierig, sogar unmöglich ist, operationsrelevante anatomische Strukturen des Patienten optisch zu erfassen. Deswegen gewinnen Verfahren zur Visualisierung anatomischer Strukturen und Zielobjekte sowie auch der exakten Position der chirurgischen Instrumente zunehmend an Bedeutung.

Außerdem ist es zweckmäßig, zumindest für komplexe Operationen, den Verlauf der Operation im Voraus anhand von meistens rechnergenerierten Aufnahmen zu planen, die dann während der Operation mit den aktuell gewonnenen Aufnahmen verglichen werden, um dadurch eine exakte Durchführung zu gewährleisten.

Verfahren zur intraoperativen rechnergestützten Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte sind bekannt. In der US-A-5 662 111 ist ein Verfahren zur Bestimmung der räumlichen Koordinaten des Kopfes eines Patienten während einer Hirnoperation offenbart, welches einen stereotaktischen Kopfhalter verwendet. Die relevanten Koordinaten werden zuerst im Koordinatensystem des Halters bestimmt und anschließend durch den angeschlossenen Rechner in Koordinaten des Erfassungssystems transformiert. Auf diese Weise können sie mit den gespeicherten präoperativen Aufnahmen verglichen werden.

Alternativ wird die Verwendung von Markern am Patienten als Referenzpunkte vorgeschlagen. Dieses Verfahren ist nur für Hirnoperationen einsetzbar. Zudem kann das Anbringen des Kopfhalters und der Referenzmarker für den Patienten schmerzhaft und unangenehm sein, vor allem weil diese für mehrere Stunden angebracht bleiben müssen. Außerdem verlängert sich dadurch die Dauer der Gesamtprozedur, denn der Rahmen muß angeschraubt werden, bevor die Tomographie aufgenommen wird und während der Tomographie und der Planung sowie auch während der Ausführung angeschraubt bleibt.

Ein ähnliches Verfahren für Hirnoperationen ist auch aus der US 5 383 454 bekannt, wobei ein Referenzring um den Kopf des Patienten angebracht wird und die so ermittelten Koordinaten in Koordinaten des Erfassungssystems transformiert werden.

Ein Problem bei Verfahren dieser Art ist die Kalibrierung der Erfassungssysteme bzw. Aufnahmevorrichtungen, die auch räumliche Abhängigkeiten aufweisen kann. Insbesondere können kleine räumliche Variationen des Erdmagnetfeldes zu einer Variation der Verzerrung der gewonnenen Bilder führen, die wiederum in einer kritischen Ungenauigkeit der Auswertung der Bilder resultieren können.

In der Veröffentlichung Proc. Int. Symp. Computer Assisted Radiology (CAR), Paris, 781-788, 1996 ist ein Verfahren zur Kalibrierung einer Röntgenkamera und anschließender Bestimmung der räumlichen Koordinaten eines Zielobjektes eines Patienten offenbart. Hierbei werden zwei dreidimensionale Kalibrierkörper verwendet, die leicht zu detektierende Merkmale enthalten, wobei der eine direkt vor dem bewegbaren Röntgenverstärker und der andere fest im Raum angeordnet ist. Aus der Kenntnis der Größe und Kontur der Kalibrierkörper wird eine parametrisierte Abbildungsmatrix erstellt, die anschließend derart optimiert wird, daß die Bilder der Kalibrierkörper aus mindestens zwei un-

terschiedlichen Winkeln von Fehlern befreit sind. Während der Operation wird jede Aufnahme kalibriert, mit dem Ziel, entzerrte und präzise Bilder zu generieren.

Bei dieser Vorgehensweise sind die Referenzpunkte der Kalibrierkörper stets in dem Bild enthalten, das der Chirurg zur Durchführung der Operation benötigt. Zudem sind die Kalibrierkörper für das Rechenverfahren nicht ohne weiteres vom Operationsgegenstand, z. B. einem Knochen zu unterscheiden.

Die kontinuierliche ortsabhängige Kalibrierung erfordert, auch aus dem oben genannten Grund, einen hohen Rechen- und Zeitaufwand, wodurch die Dauer von Operationen verlängert und u. U. das Risiko für den Patienten erhöht wird. Bei einer Verlängerung des Eingriffs muß die Blutsperre länger aktiv bleiben, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit von Komplikationen erhöht. Die Benutzung von Kalibrierkörpern während der Operation verringert nicht nur die Zuverlässigkeit, sondern es entsteht auch eine Dämpfung der Bilder, wodurch sich der Kontrast verschlechtert; dadurch wird die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der anschließenden Bildverarbeitung wesentlich erhöht.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ausgehend von diesem Stand der Technik, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, welche eine schnelle und präzise intraoperative, berührungslose Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte ermöglichen. Außerdem soll eine dreidimensionale Rekonstruktion anhand von Einzelaufnahmen möglich sein, um somit in Einzelaufnahmen nicht erfaßbare Zielobjekte visualisieren zu können.

Es gibt jedoch Strukturen wie z. B. Weichteilstrukturen oder Tumoren, die nicht in Einzelaufnahmen erfaßbar sind. Somit entsteht die Notwendigkeit einer dreidimensionalen Rekonstruktion des Zielobjektes anhand von Einzelaufnahmen. Eine derartige Vorgehensweise würde es ermöglichen, für jede Art von Operation ohne stereotaktische Vorrichtungen und Marker eine berührungslose vollständige intraoperative Bestimmung der räumlichen Koordinaten des Zielobjektes zu erhalten und die relative Position eines Zielobjektes zu einem oder zu mehreren chirurgischen Instrumenten zu ermitteln und zu visualisieren.

Um eine möglichst exakte Visualisierung zu gewährleisten, soll das erfindungsgemäße Verfahren den Schritt der Kalibrierung enthalten, wobei während der Operation auf Kalibrierkörper und stereotaktische Halter oder Marker verzichtet werden soll.

Außerdem soll das vorgeschlagene Verfahren unabhängig von der Art der Bilderfassung sein, so daß Röntgen-, Ultraschall-, CT-, Infrarot und andere bildgebende Verfahren eingesetzt werden können.

Diese Aufgabe ist gemäß der Erfindung für ein Verfahren durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst, für eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens durch Merkmale der Ansprüche 19 und 25.

Weitere Merkmale und Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Demgemäß wird vorgeschlagen, mittels der Aufnahmevorrichtung eine oder mehrere Aufnahmen aus unterschiedlicher Position bzw. Orientierung zu machen, wobei bei mehreren Aufnahmen, die für eine dreidimensionale Rekonstruktion erforderlich sind, die relativen Positionen bzw. Orientierungen der Aufnahmen zueinander bestimmt oder berechnet werden.

Zur Bestimmung der relativen Positionen bzw. Orientierungen der Aufnahmen zueinander wird die Position und Orientierung der Aufnahmevorrichtung mittels eines Tracking-Systems, z. B. eines Infrarot-Tracking-Systems oder mittels einer auf der Aufnahmevorrichtung angebrachten

Winkelencodieranordnung verfolgt.

Zusätzlich können am Zielobjekt intraoperativ Marken, die für das Tracking-System sichtbar sind, angebracht und verfolgt werden. Dadurch können kleine Bewegungen zwischen Aufnahmen ausgeglichen werden.

Alternativ oder zusätzlich dazu kann die relative Lage der Aufnahmen zueinander gemessen werden oder konstruktionsbedingt durch geeignete Voreinstellungen als bekannt vorausgesetzt werden. Eine hier zu diesem Zweck vorgeschlagene Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens enthält im Rahmen einer bevorzugten Ausgestaltung zwei in festem Abstand voneinander angeordnete Aufnahmeeinrichtungen, so daß die relative Position und Orientierung der Aufnahmeeinrichtungen bekannt ist.

Anschließend werden die so gewonnenen Aufnahmen mit präoperativ gewonnenen und gespeicherten Aufnahmen mit Hilfe eines Rechners verglichen, um die Position mindestens eines chirurgischen oder eines robotergesteuerten chirurgischen Instrumentes relativ zum Zielobjekt zu bestimmen. Mit dieser Information kann die ermittelte Position des chirurgischen Instrumentes mit einer präoperativ geplanten und gespeicherten Position verglichen werden, um eine exakte Durchführung der Operation zu gewährleisten. Bei einfachen Operationen kann die Planung auch intraoperativ stattfinden. In diesem Fall bezieht sich der Datenabgleich auf intraoperative Aufnahmen. Dabei kann eine optische oder akustische Warnung erzeugt werden, wenn die Abweichung zwischen Soll- und Istzustand des chirurgischen Instrumentes relevant ist.

Eine Warnung kann auch dann erzeugt werden, wenn der Winkelabstand zwischen zwei Aufnahmen zu klein oder ungeeignet ist oder wenn das Zielobjekt nicht geeignet sichtbar ist.

Für nicht in Einzelaufnahmen erfaßbare Zielobjekte wird aus mindestens zwei aus unterschiedlicher Orientierung und/oder Position gewonnenen Aufnahmen intraoperativ eine dreidimensionale Rekonstruktion berechnet.

Der Vorteil dieses berührungslosen Verfahrens liegt auf der Hand: Es sind keine stereotaktischen Vorrichtungen oder Marken am Patienten mehr notwendig, die eine Fixierung des Patienten erfordern und die Operationsdauer um mehrere Stunden verlängern können.

Wie oben beschrieben, wird die absolute Stellung der Aufnahmevorrichtung erfaßt oder berechnet, oder die absolute Stellung der Aufnahmevorrichtung und die relative Stellung von Aufnahmen zueinander oder es wird nur die relative Stellung von Aufnahmen zueinander erfaßt oder berechnet. Im letzten Fall müssen noch die vom absoluten Ort der Aufnahmevorrichtung abhängigen Kameraparameter erfaßt werden.

Erfindungsgemäß besteht eine Möglichkeit hierzu darin, kleine statische Marken am Rand des Sichtfeldes der Aufnahmevorrichtung (relativ zur Aufnahmevorrichtung fest angeordnet) anzubringen.

Es werden dann die relativen Bildpositionen dieser Marken in eine Serie von Aufnahmen präoperativ bestimmt, wobei jeweils Informationen über die zugehörige Absolutlage der Aufnahmevorrichtung oder die zugehörigen Kameraparameter gespeichert werden. Intraoperativ können dann aus der relativen Lage der Marken im Bild die zugehörige Information über die Absolutposition, die Kameraparameter, Kalibrierdaten etc. ermittelt oder berechnet werden.

Alternativ kann ein digitaler Bildaufnehmer verwendet werden, der bereits werkseitig entzerrt ist, z. B. durch Messung der Magnetfeldeinflüsse o.ä.

Desweiteren wird zum Zweck der Kalibrierung vorgeschlagen, vor der Operation mittels der Aufnahmevorrichtung eine Serie von Bildern aus mehreren unterschiedlichen

Winkeln aufzunehmen. Dabei werden bekannte Kalibrierkörper bzw. Kalibriervorrichtungen oder an der Aufnahmevorrichtung angebrachte Referenzmarken verwendet. Anschließend werden die – ortsabhängigen – Verzerrungseigenschaften durch ein Kalibrierungs-Parametermodell beschrieben und gespeichert und die Kalibriervorrichtungen entfernt. Die Eingabedaten des Kalibrierungs-Parametermodells können sowohl absolute Positionsangaben der Aufnahmevorrichtung als auch Sensordaten eines Referenzkörpers (Referenzmarken) sein.

Die während der Operation mittels der Aufnahmevorrichtung gewonnenen Bilder werden vom Rechner mit Hilfe des Kalibrierungs-Parametermodells ausgewertet und entzerrt dargestellt. Wenn während der Operation eine Aufnahme in Richtung ausgesucht wird, der mit einer der bereits gespeicherten nicht übereinstimmt, werden die Verzerrungseigenschaften durch einen Interpolationsalgorithmus aus dem Modell ermittelt. Auch diese Daten werden gespeichert, um bei erneuter Wahl z. B. dieser Aufnahme in Richtung das Bild schneller darstellen zu können. Dabei wird die Position der Erfassungsvorrichtung, z. B. einer C-Bogen-Röntgenkamera kontinuierlich in Echtzeit verfolgt.

Erfindungsgemäß können Warnungen erzeugt werden, wenn der Fehler bei der intraoperativen Kalibrierung einen vorbestimmten Wert überschreitet.

Das erfindungsgemäße Verfahren erfordert deutlich weniger Rechen- und Zeitaufwand, da auf bereits vorhandene Kalibrierungsdaten zugegriffen wird. Zudem wird eine Operation möglich, bei der auf eine schmerzhaft Fixierung des Patienten im Operationsbereich verzichtet wird.

Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die intraoperativen Bilder keine störenden Kalibrierpunkte enthalten. Dadurch erhöht sich die Zuverlässigkeit der anschließenden Bildverarbeitung erheblich.

Die Aufnahmevorrichtung kann eine Röntgen-, Infrarot-, CT-, MR- oder Ultraschallaufnahmevorrichtung sein, die eine oder mehrere Aufnahmeeinrichtungen aufweisen kann.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnung näher erläutert. In dieser stellen dar:

Fig. 1 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens für Röntgenaufnahmevorrichtungen und des Aufbaus der Vorrichtung zu dessen Durchführung;

Fig. 2 eine detailliertere Darstellung des Tracking-Systems aus Fig. 1;

Fig. 3 eine Variante des Systems zur Bestimmung der Position bzw. Orientierung der Röntgenaufnahmevorrichtung;

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens für Röntgenaufnahmevorrichtungen und des Aufbaus der Vorrichtung zu deren Durchführung;

Fig. 5 eine Darstellung der Röntgenaufnahmevorrichtung aus Fig. 4;

Fig. 6 eine Darstellung einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Röntgenaufnahmevorrichtung aus Fig. 4;

Fig. 7 eine Illustration der Visualisierung der Position bzw. Orientierung eines chirurgischen Instrumentes gemäß der Erfindung;

Fig. 8 eine mit Marken am Rand des Sichtfeldes versehene Röntgenaufnahmevorrichtung;

Fig. 9 ein mit Referenzmarken versehenes chirurgisches Instrument; und

Fig. 10 ein robotergeführtes chirurgisches Instrument.

Gemäß Fig. 1 wird eine Röntgenaufnahmevorrichtung 1 mit einem Detektor 2 und einer Quelle 3 verwendet. Die Röntgenaufnahmevorrichtung 1 ist mit einem Rechner 4 verbunden, an dem ein Bildschirm 5 angeschlossen ist. Die Position und Orientierung der Röntgenaufnahmevorrichtung 1, die als C-Bogen ausgebildet ist, wird mittels eines

Infrarot-Tracking-Systems 6 verfolgt, dessen Daten an den Rechner 4 weitergeleitet werden. Die Position eines chirurgischen Instrumentes 7 relativ zum Zielobjekt 8, das sich auf dem Tisch 9 befindet, wird ermittelt, mit den präoperativ gewonnenen CT/MR 10 Daten verglichen und mit Hilfe des Bildschirms angezeigt. Das chirurgische Instrument 7 ist mit mehreren unterschiedlich orientierten Referenzmarken 11 versehen, die eine Bestimmung von dessen Orientierung ermöglichen.

Das Infrarot-Tracking-System 6 enthält anhand Fig. 2 einen im Raum fest angeordneten Infrarot Detektor 12 und eine oder mehrere auf der Röntgenaufnahmevorrichtung 1 angebrachte Referenzmarken 13. In Fig. 2 sind zwei unterschiedliche detektierbare Positionen der Röntgenaufnahmevorrichtung 1 gezeigt.

Fig. 3 zeigt eine Variante zur Ermittlung der Position und Orientierung der Röntgenaufnahmevorrichtung 1. Hier werden Winkencoder 14 verwendet. Auch diese Daten werden an den Rechner 4 weitergeleitet. Der Vorteil der Verwendung der Winkencoder 14 besteht darin, daß die Mobilität der Vorrichtung erhöht wird. In Fig. 3 sind ebenfalls zwei unterschiedliche detektierbare Positionen der Röntgenaufnahmevorrichtung 1 gezeigt.

Gemäß Fig. 4 ist die Röntgenaufnahmevorrichtung 1 als Stereo-C-Bogen ausgebildet und enthält zwei Quellen 3 und zwei Detektoren 2. Der Stereo-C-Bogen 1 ist in Fig. 5 detaillierter dargestellt. Jeder Röntgen-Quelle 3 ist ein Detektor 2 zugeordnet. Dadurch ist die relative Position und Orientierung der mit dieser Vorrichtung gewonnenen Aufnahmen bekannt und folglich wird kein Tracking-System benötigt. Das chirurgische Instrument 7 enthält keine Referenzmarken, sondern ist für Röntgenstrahlen sichtbar. Wie in Fig. 10 dargestellt, kann anstelle eines einfachen Instrumentes ein robotergeführtes Instrument 7 verwendet werden.

Fig. 6 illustriert eine weitere Ausführungsform einer Röntgenaufnahmevorrichtung mit zwei Quellen. Beiden Quellen 3 ist ein gemeinsamer Detektor 2 zugeordnet. Die Aufnahmen werden abwechselnd gemacht, wobei zwischen den einzelnen Aufnahmen eine kurze Zeitspanne eingeplant werden sollte, um eine gute Qualität der Aufnahmen zu gewährleisten.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform, die nicht dargestellt ist, enthält die Röntgenaufnahmevorrichtung vier Quellen und einen oder mehrere Detektoren. Es gibt keine feste Zuordnung zwischen Quellen und Detektoren, so daß mehrere Kombinationen möglich sind. Für den Fall, daß vier Quellen und vier Detektoren vorgesehen sind, können sechzehn Aufnahmen unterschiedlicher Orientierung gewonnen werden.

Für den Fall, daß Einzelaufnahmen keine ausreichende Information über das Zielobjekt geben können, wird aus mindestens zwei Aufnahmen unterschiedlicher Orientierung eine dreidimensionale Rekonstruktion durchgeführt. Wie in Fig. 7 gezeigt, wird das Resultat dreidimensional auf dem Bildschirm 5 angezeigt. Dabei wird die tatsächliche Position des chirurgischen Instrumentes 7 mit der geplanten Position verglichen. Desweiteren kann eine Warnung erzeugt werden, wenn die Abweichung zwischen Soll- und Istzustand relevant ist.

Fig. 8 illustriert die Vorrichtung zur Bestimmung der Information über die Absolutlage oder der Kameraparameter aus der Relativlage der Marken 16 im Bild.

Fig. 9 zeigt ein mit Marken 11 versehenes chirurgisches Instrument 7, wobei die Position der Instrumentenspitze nur aus einer Einzelaufnahme aus dem Schnittpunkt der räumlichen Instrumentenachse mit der Geraden Kameraursprung Instrumentenspitze im Bildpunkt berechnet werden kann.

1. Verfahren zur intraoperativen rechnergestützten Bestimmung von räumlichen Koordinaten anatomischer Zielobjekte mit Hilfe einer Aufnahmevorrichtung und insbesondere zur intraoperativen dreidimensionalen Visualisierung für medizinische Eingriffe, **dadurch gekennzeichnet**,

daß mittels der Aufnahmevorrichtung (1) eine oder mehrere Aufnahmen aus unterschiedlicher Position und/oder Orientierung gemacht werden;

daß die relativen Positionen und Orientierungen der Aufnahmen zueinander, die mittels der Aufnahmevorrichtung (1) gewonnen werden, berechnet werden, gemessen werden, oder konstruktionsbedingt bestimmt werden; und

daß diese Aufnahmen mit präoperativ und/oder intraoperativ gewonnenen Aufnahmen verglichen werden, um die relative Position eines Zielobjektes (8) zu mindestens einem chirurgischen Instrument (7) zu ermitteln und zu visualisieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die ermittelte Position eines chirurgischen Instrumentes (7) mit einer präoperativ ermittelten und gespeicherten Position verglichen wird, um eine exakte Durchführung der Operation zu gewährleisten.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet, daß für nicht in Einzelaufnahmen erfassbare Zielobjekte (8) aus mindestens zwei aus unterschiedlicher Orientierung und/oder Position gewonnenen Aufnahmen intraoperativ eine dreidimensionale Rekonstruktion eines Zielobjektes (8) berechnet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß als erster Schritt eine Kalibrierung durchgeführt wird, wobei

präoperativ mittels der auch bei der Operation verwendeten Aufnahmevorrichtung eine Serie von Aufnahmen aus mehreren unterschiedlichen Winkeln aufgenommen wird, wobei Kalibrierkörper und/oder Kalibriersysteme an der Aufnahmevorrichtung verwendet werden,

die Verzerrungseigenschaften der Aufnahmen durch ein ortsabhängiges Kalibrierungs-Parametermodell präoperativ beschrieben und gespeichert werden, wobei die Kalibrierkörper und/oder Kalibriersysteme anschließend ganz oder teilweise entfernt werden und wobei

die während der Operation gewonnenen Aufnahmen von einem Rechner mit Hilfe des Kalibrierungs-Parametermodells ausgewertet und entzerrt dargestellt werden, wobei dann, wenn während der Operation eine Aufnahmerichtung ausgesucht wird, die mit einer der bereits gespeicherten nicht übereinstimmt, die Verzerrungseigenschaften durch einen Interpolationsalgorithmus aus dem Kalibrierungs-Parametermodell ermittelt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß präoperativ statische Marken (16) im Sichtfeld der Aufnahmevorrichtung (1) angebracht werden, deren relativen Bildpositionen in eine Serie von Aufnahmen präoperativ bestimmt werden, wobei jeweils die zugehörigen Kameraparameter oder Kalibrierdaten oder Information über die Absolutposition gespeichert werden, wobei intraoperativ aus der relativen Lage der Marken (16) im Bild die zugehörige Information über die Absolutposition, die Kameraparameter, Kalibrierdaten etc. ermittelt oder berechnet werden.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprü-

che, dadurch gekennzeichnet, daß die Position und Orientierung der Aufnahmevorrichtung mittels eines Tracking-Systems (6) ermittelt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die intraoperative Position und Orientierung der Aufnahmevorrichtung mittels des Tracking-Systems (6) kontinuierlich in Echtzeit verfolgt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Position und Orientierung der Aufnahmevorrichtung mittels eines Infrarot-Tracking-Systems (6) ermittelt wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der relativen Position und/oder Orientierung der Aufnahmen zueinander mittels Winkelencodern (14) erfolgt, die auf der Aufnahmevorrichtung (1) angebracht sind.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ermittlung der relativen Position und/oder Orientierung der Aufnahmen zueinander dadurch erfolgt, daß vordefinierte Einstellungen für die Position und/oder Orientierung verwendet werden.

11. Verfahren einem der Ansprüche 4 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Kalibrierkörper verwendet werden, die leicht zu detektierende Merkmale enthalten, wobei der eine direkt vor der Aufnahmevorrichtung (1) und der andere fest im Raum angeordnet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzmarken (16) wenige im Bild sichtbare Marken sind, die auch intraoperativ angebracht bleiben.

13. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß der direkt vor der Aufnahmevorrichtung (1) angeordnete Kalibrierkörper intraoperativ angebracht bleibt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine Warnung erzeugt wird, wenn der Fehler bei der intraoperativen Kalibrierung einen vorbestimmten Wert überschreitet, und/oder die am nächsten liegende geeignete Position angezeigt wird.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Warnung erzeugt wird, wenn der Winkelabstand zwischen zwei Aufnahmen zu klein oder ungeeignet ist.

16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Warnung erzeugt wird, wenn das Zielobjekt (8) nicht geeignet sichtbar ist.

17. Verfahren nach den Ansprüchen 2 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß eine Warnung erzeugt wird, wenn die ermittelte Position eines chirurgischen Instrumentes (7) von der idealen Position, die präoperativ oder intraoperativ ermittelt wurde, abweicht.

18. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine oder mehrere für ein Tracking-System (6) sichtbare Marken intraoperativ am Zielobjekt (8) befestigt und verfolgt werden, so daß kleine Bewegungen zwischen Aufnahmen ausgeglichen werden.

19. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche mit einer bildgebenden Aufnahmevorrichtung (1), einer Recheneinheit (4) und einem Bildschirm (5), dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmevorrichtung (1) mindestens zwei in festem Abstand voneinander angeordnete Aufnahmeeinrichtungen enthält, so daß die relative Position und Orientierung der Aufnahmeeinrichtungen be-

kannt ist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich eine Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmevorrichtung (1) vorgesehen ist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 19 oder 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmevorrichtung (1) eine Röntgenaufnahmevorrichtung ist.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Röntgenaufnahmevorrichtung (1) ein Stereo-C-Bogen-Röntgengerät ist.

23. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Röntgenaufnahmevorrichtung (1) eine Röntgenaufnahmevorrichtung ist, die zwei Quellen (3) und einen Detektor (2) aufweist, wobei die Quellen (3) abwechselnd aktivierbar sind.

24. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Röntgenaufnahmevorrichtung (1) eine Röntgenaufnahmevorrichtung ist, die vier Quellen (3) und mindestens einen Detektor (2) aufweist, wobei die Quellen (3) abwechselnd aktivierbar sind.

25. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 18 mit einer bildgebenden Aufnahmevorrichtung (1), einer Recheneinheit (4) und einem Bildschirm (5), dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmevorrichtung (1) eine Aufnahmeeinrichtung (2, 3) aufweist und daß die Vorrichtung eine Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmeeinrichtung enthält.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmeeinrichtung ein Tracking-System (6) ist.

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, daß das Tracking-System (6) ein Infrarot-Tracking-System ist (6, 13).

28. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Einrichtung zur Ermittlung der Position und/oder der Orientierung der Aufnahmevorrichtung (1) auf der Aufnahmevorrichtung angebrachte Winkelencoder (14) oder Beschleunigungsmesser sind.

29. Vorrichtung nach den Ansprüchen 25 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmevorrichtung (1) eine CT-, MR-, Ultraschall- oder Infrarot- Aufnahmevorrichtung ist.

30. Vorrichtung nach den Ansprüchen 25 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmevorrichtung (1) ein C-Bogen-Röntgengerät ist.

31. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufnahmevorrichtung (1) eine CT-, MR-, Ultraschall- oder Infrarot- Aufnahmevorrichtung ist.

32. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine oder mehrere entfernbare Kalibriereinrichtungen enthält.

33. Vorrichtung nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß die Kalibriereinrichtungen Kalibrierkörper sind, die leicht zu detektierende Merkmale enthalten, wobei der eine direkt vor der Aufnahmevorrichtung (1) und der andere fest im Raum angebracht ist.

34. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine oder mehrere Referenzmarken (16) im Sichtfeld der Aufnahmevorrichtung (1) aufweist.

35. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens ein chirurgisches Instrument (7) enthält, welches mit für die Aufnahmevorrichtung (1) sichtbaren Referenzmarken (11)

versehen ist.

36. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß sie mindestens ein chirurgisches Instrument (7) enthält, welches für die Aufnahmevorrichtung (1) sichtbar ist.

5

---

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

20

25

30

35

40

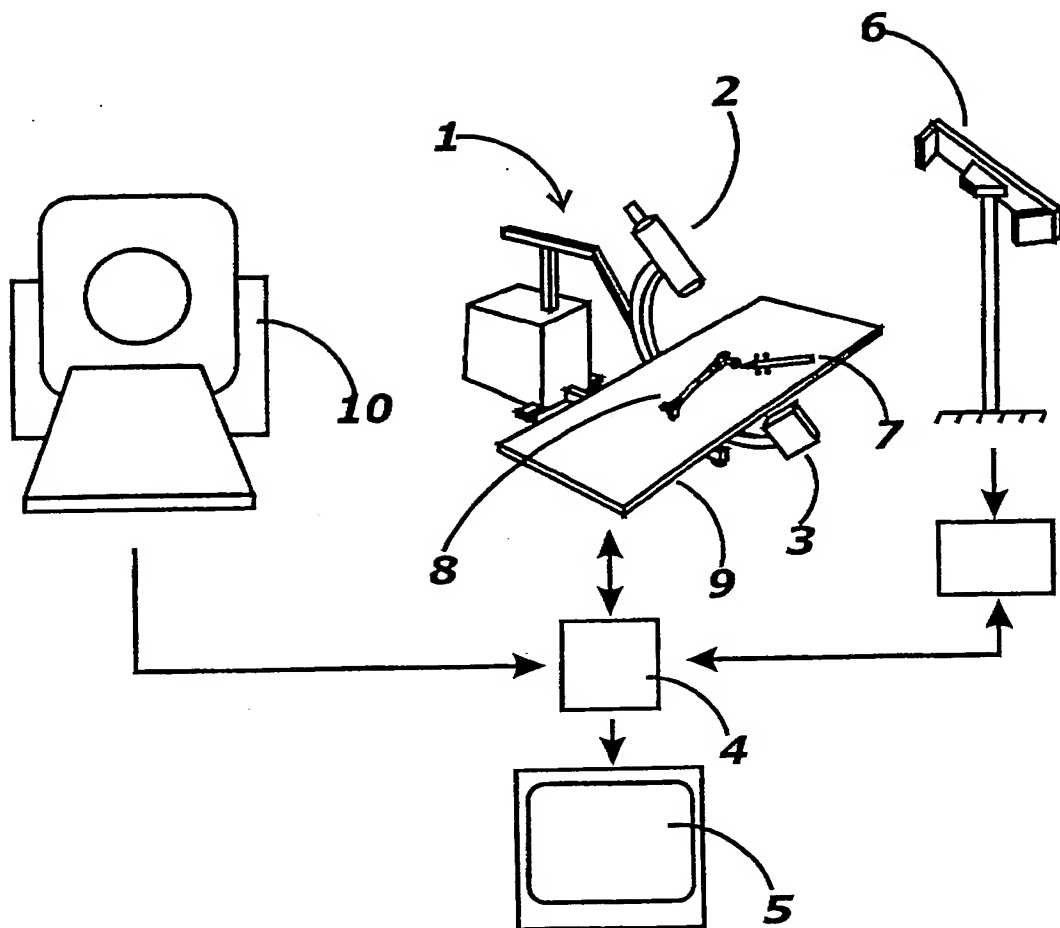
45

50

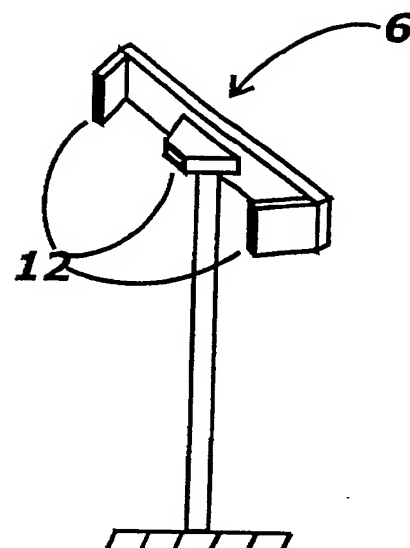
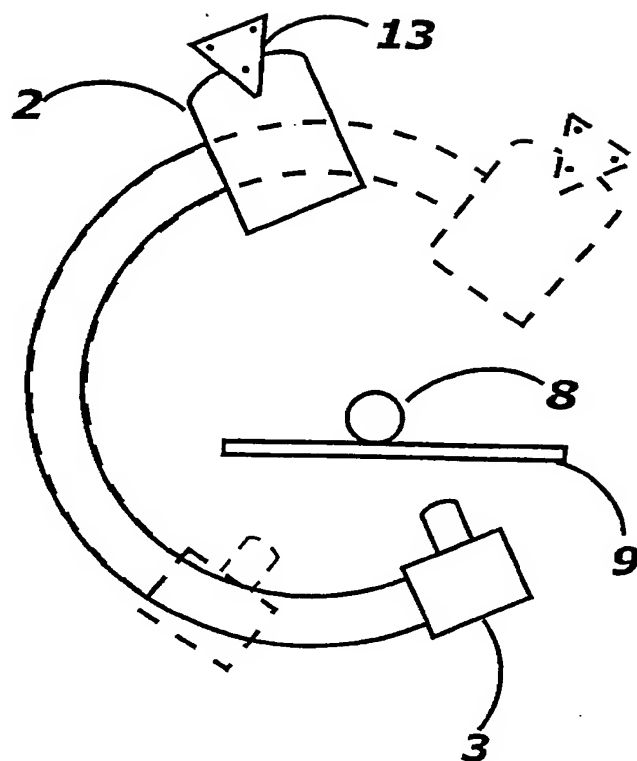
55

60

65

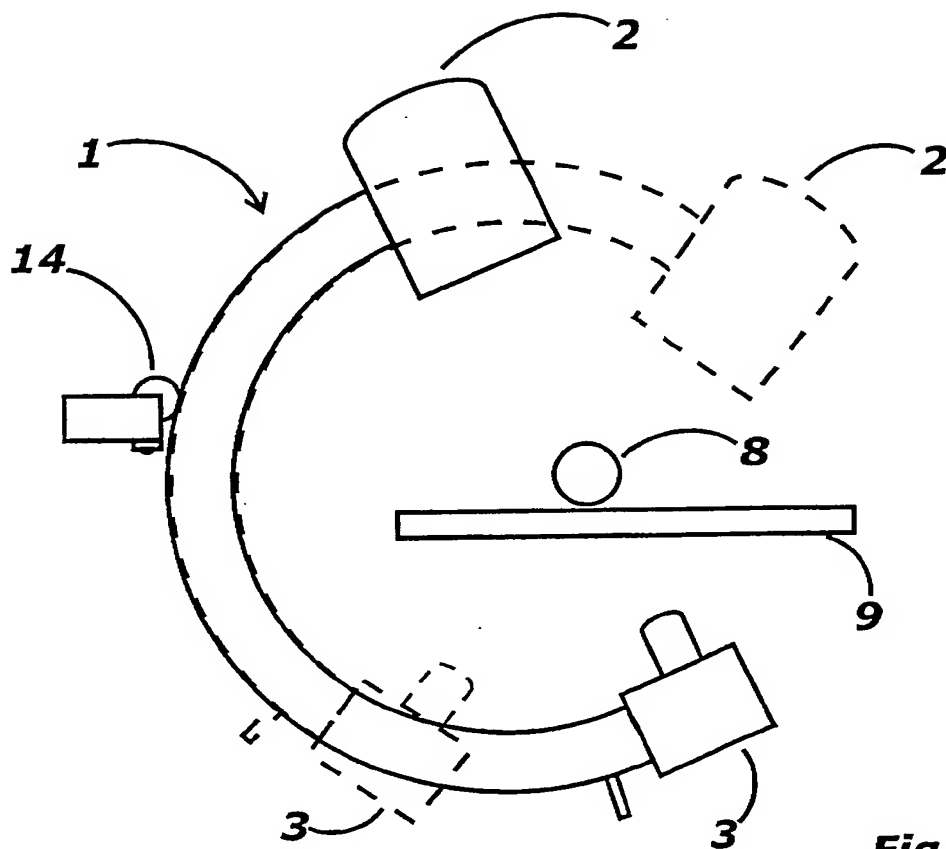


**Fig. 1**

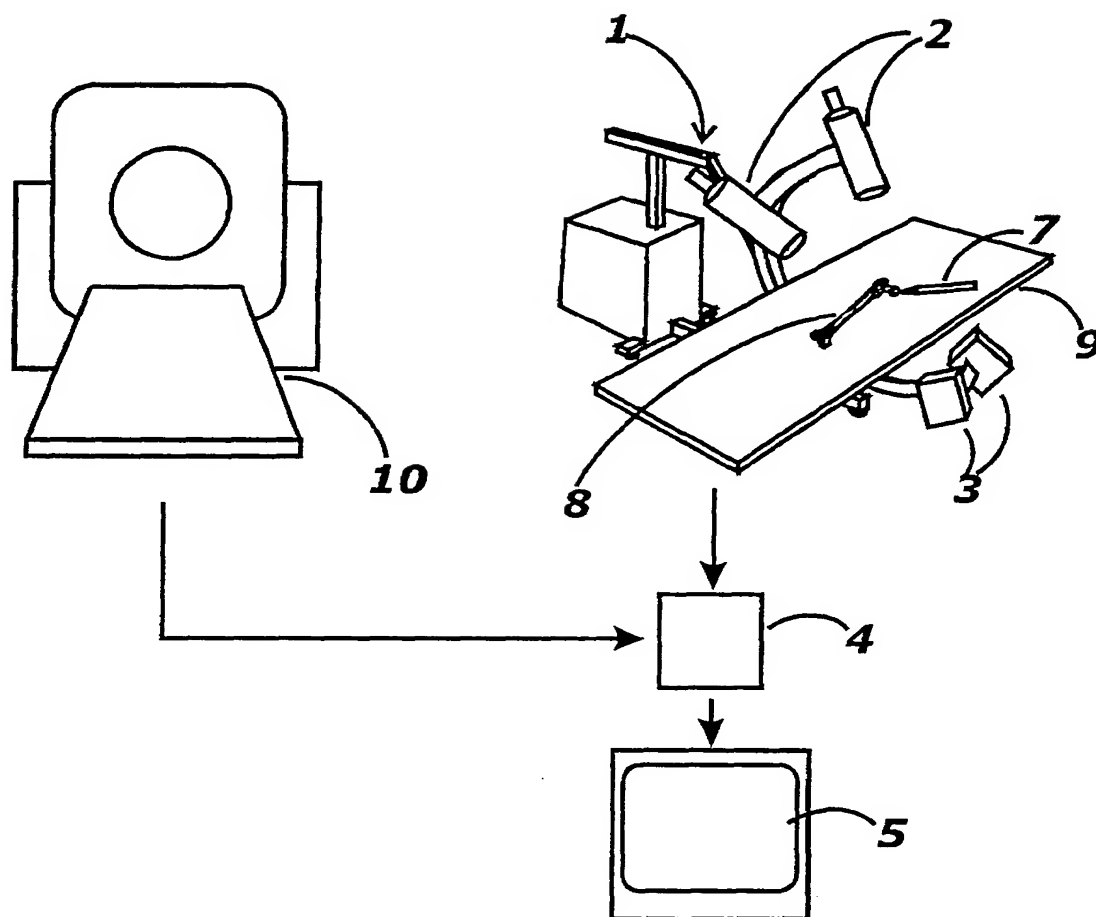


**Fig. 2**

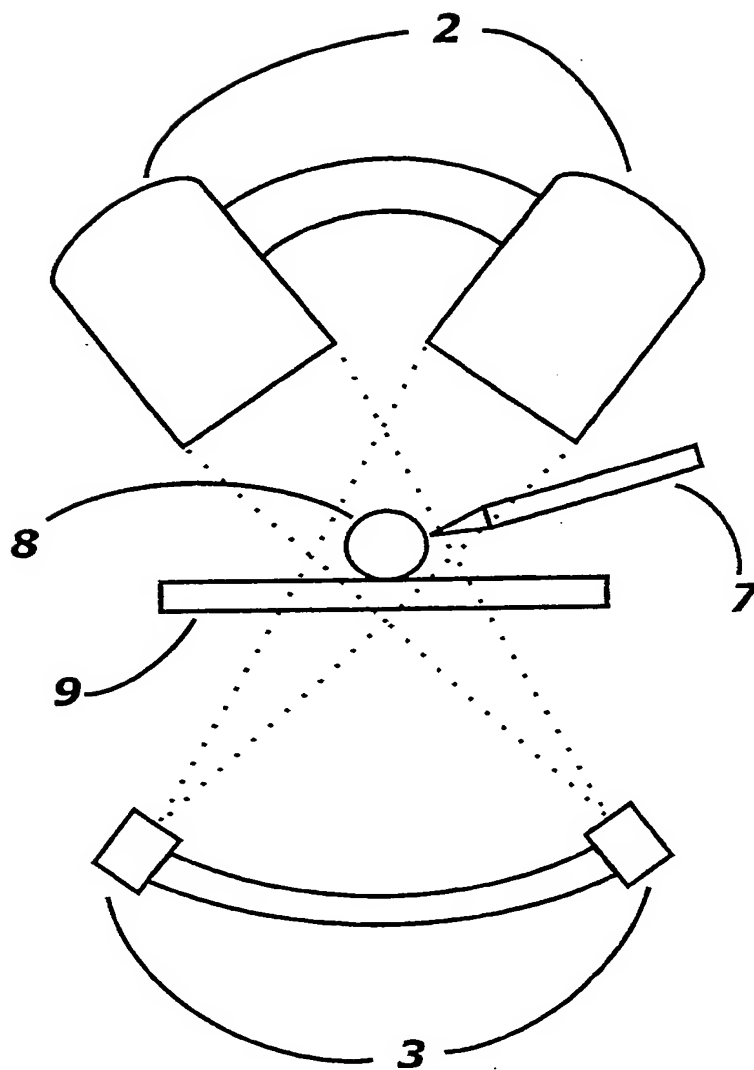




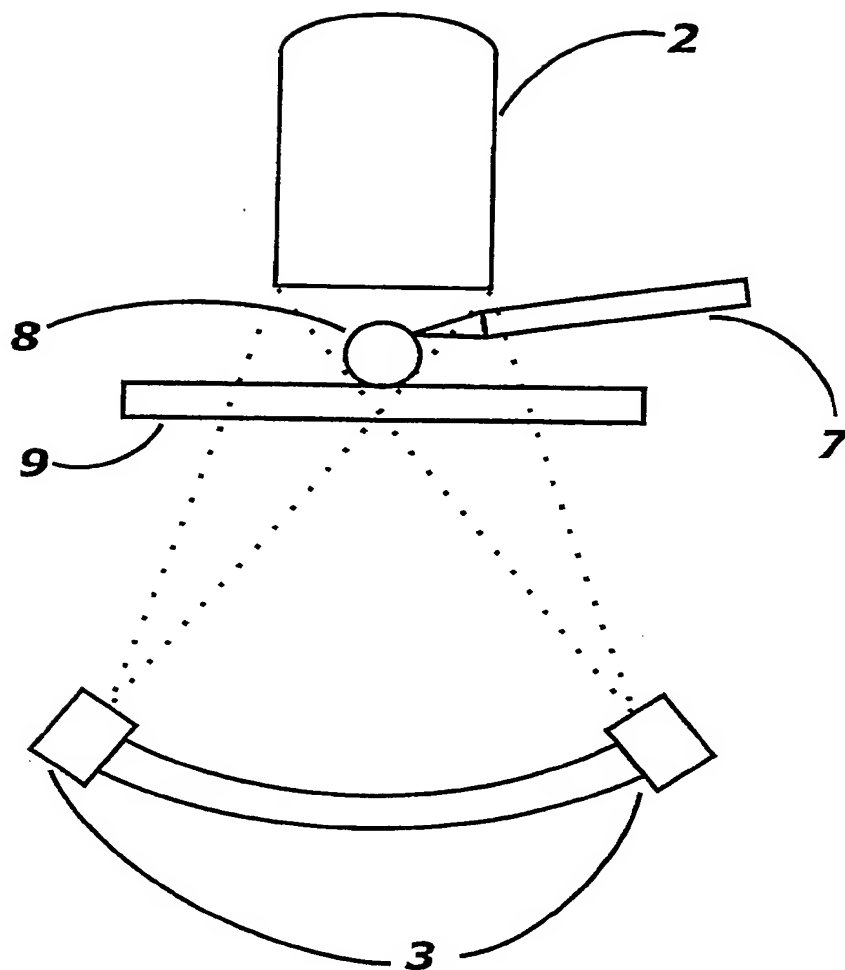
**Fig. 3**



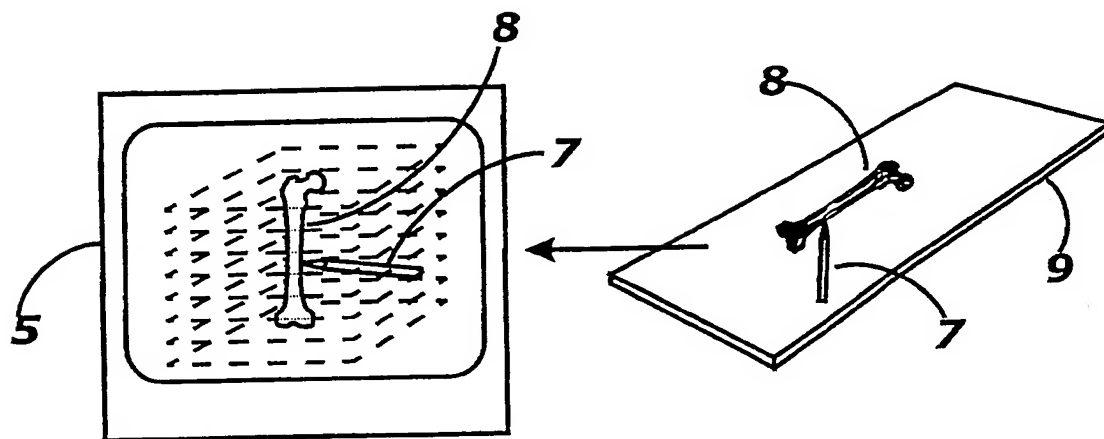
**Fig. 4**



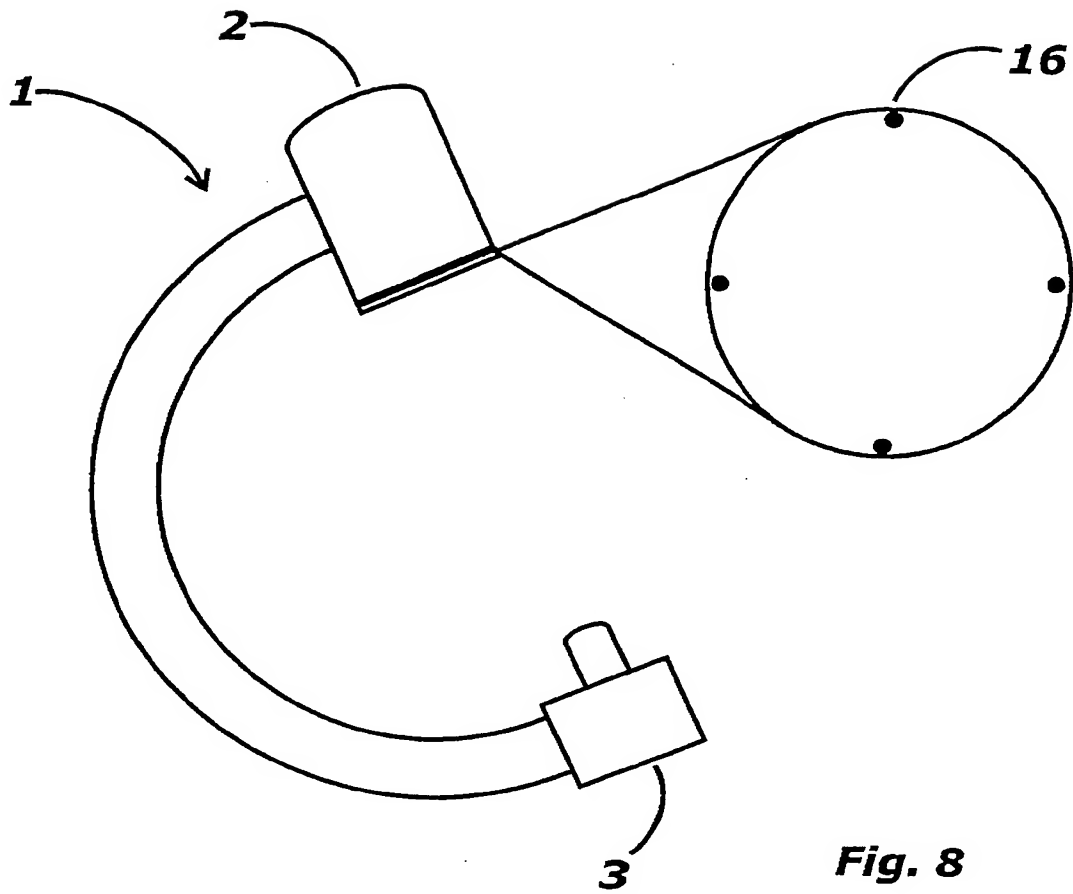
**Fig. 5**

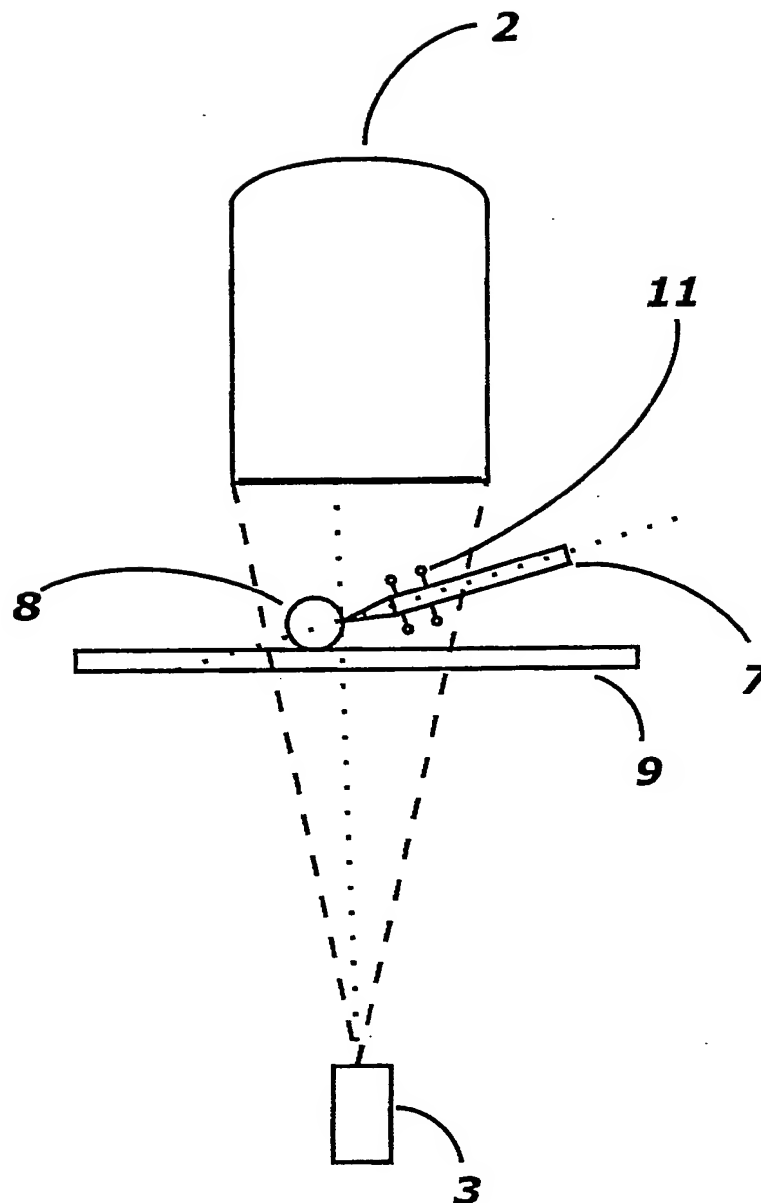


**Fig. 6**

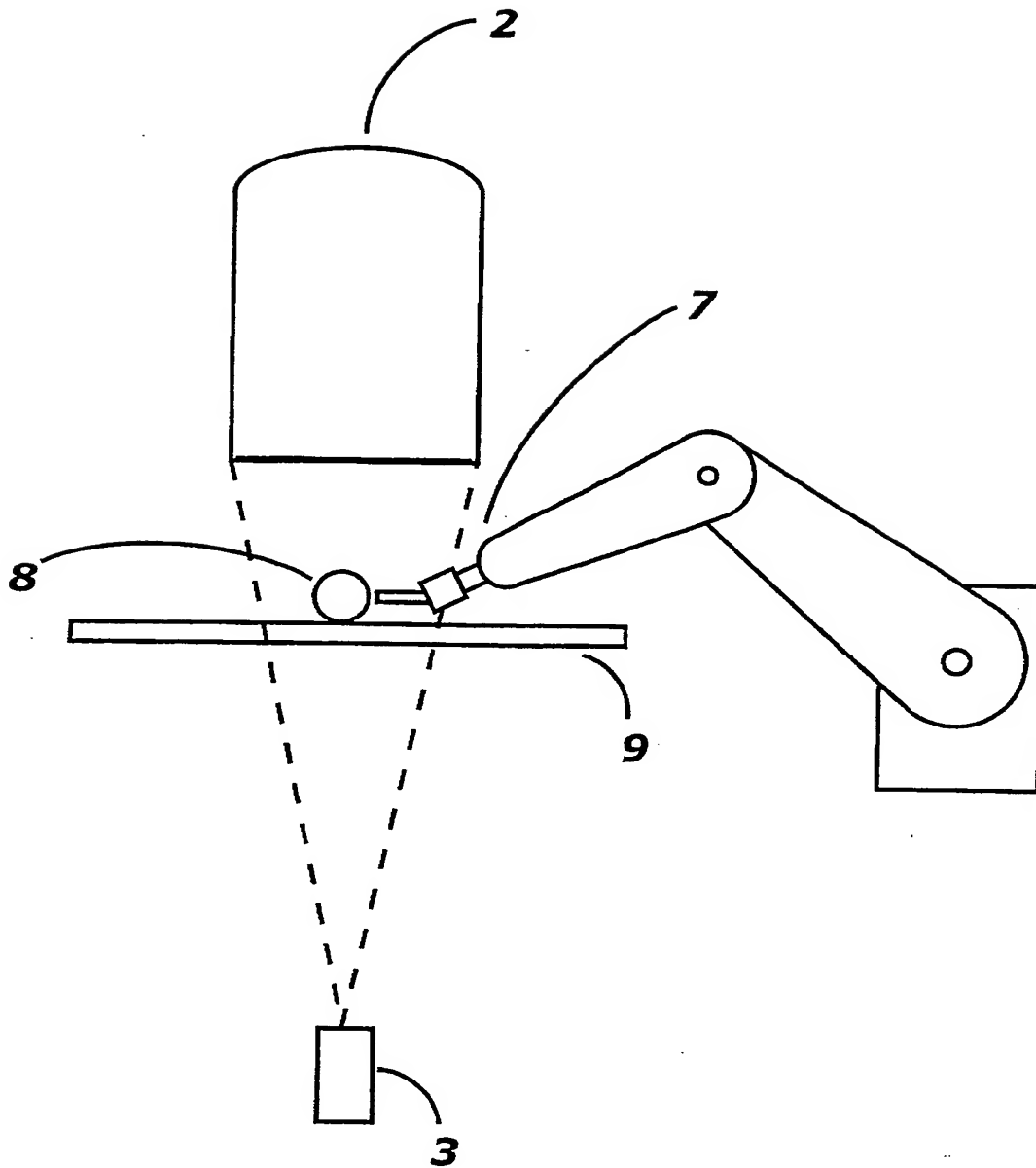


**Fig. 7**





**Fig. 9**



**Fig. 10**